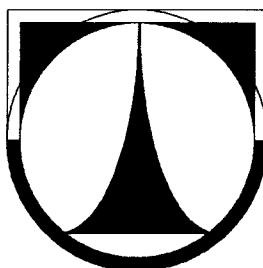


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů

---



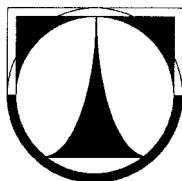
## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Přestavba traktorového motoru pro provoz na rostlinný olej**

**Conversion tractor engine for running on vegetable oil**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

FAKULTA STROJNÍ



Katedra vozidel a motorů

Obor: B2341 Strojírenství

Zaměření: 2302R022 Stroje a zařízení

Dopravní stroje a zařízení

**Přestavba traktorového motoru pro provoz na rostlinný olej**

**Conversion tractor engine for running on vegetable oil**

**Bakalářská práce**

Petr Weiss

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Konzultant diplomové práce: Michal Vojtíšek, MSc.

Květen 2008

# **Přestavba traktorového motoru pro provoz na rostlinný olej**

## **Anotace**

Úkolem této práce je shrnout podmínky a možnosti použití rostlinných olejů jako paliv pro vznětové motory. Dále na základě již dosažených zkušeností a znalostí některých známých funkčních přestaveb vznětových motorů spalujících rostlinný olej určit optimální složení komponentů důležitých pro spalování rostlinného oleje. Pro tyto komponenty zkonstruovat kompaktní blok, do kterého by se daly snadno zamontovat. Tento kompaktní blok by se poté dle zhotovené výkresové dokumentace měl dát vyrobit a používat u daného traktorového motoru (Zetor Z1504).

**Klíčová slova:** biopaliva, rostlinné oleje, FAME, vznětové motory

# **Conversion of tractor engine to run on vegetable oil**

## **Annotation**

The aim of the thesis is to collect conditions and possibilities of using vegetable oil as fuel for compression-ignition engines. Next, on the basis of reached knowledge and experience some of known conversions of engines combusting vegetable oil, establish optimal compositions of components that are important for vegetable oil combustion. It is necessary to construct compact block for these components, in which is easy to build these components in. This compact block should be manufactured and used with existing tractor engine (Zetor Z1504) as is mentioned in design documentation.

**Keywords:** biofuel, vegetable oil, FAME, compression-ignition engines

..

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2008

Archivní označení zprávy:

## Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne .....

.....  
Petr Weiss

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Josefu Laurinovi a konzultantovi Michalu Vojtíškovi za ochotu, pomoc a odborné vedení, které mi poskytovali při zpracování této práce.

Zvláštní poděkování patří také Dipl. Ing. Andreji Glatzovi, jednateři přestavby na rostlinný olej ze společnosti EUROPECON, s.r.o, za informace, rady a podklady, které mi poskytl.

V neposlední řadě patří dík mým rodičům, kteří mi byli oporou po dobu celého studia.

# OBSAH

<b>1.0 Úvod</b>	7
<b>2.0 Biopaliva</b>	8
2.1 Estery rostlinných olejů	8
2.1.1 Vlastnosti	8
2.1.2 Zpracování olejnatých semen	9
2.1.3 Využití FAME	10
2.1.4 Ekologie	10
2.1.5 Nevýhody FAME	11
2.2 Surový rostlinný olej	11
2.2.1 Druhy rostlinných olejů	11
2.2.2 Základní vlastnosti surového rostlinného oleje	12
2.2.3 Ekologie	13
2.2.4 Nevýhody řepkového oleje	14
<b>3.0 Přestavba vznětového motoru pro pohon na rostlinný olej</b>	16
3.1 Přestavba všeobecně	17
3.1.1 Funkce dvounádržového systému	17
3.1.1.1 Palivové nádrže	18
3.1.1.2 Přívod paliva	19
3.1.1.3 Elektromagnetické ventily	19
3.1.1.4 Palivové filtry	20
3.1.1.5 Ohřev paliva	20
3.1.1.6 Odvzdušnění	23
3.1.1.7 Snímače teploty	24
3.1.1.8 Řídící jednotka	24
3.1.2 Funkce jednonádržového systému	25
3.1.2.1 Přímé vstřikování oleje	25
3.1.2.2 Nepřímé vstřikování oleje	27
3.2 Příklady realizace vznětových motorů provozovaných na rostlinný olej	28
3.2.1 Traktor DUETZ	28
3.2.2 Kamion IVECO STRALIS	30
3.2.3 Osobní automobil NISSAN Primera WP11-120	32
<b>4.0 Přestavbová sada pro traktorový motor ZETOR</b>	34
4.1 Schéma zapojení a jednotlivé komponenty	34
4.2 Kompaktní blok pro traktorový motor ZETOR	36
<b>5.0 Provozní parametry motoru ZETOR Z1504 na řepkový olej</b>	38
<b>6.0 Závěr</b>	39
<b>7.0 Použitá literatura a odkazy</b>	40

## 1.0 Úvod

Hledání nových zdrojů energie za stávající fosilní paliva (ropa, zemní plyn, uhlí) je dnes stále aktuálnějším problémem, který se týká celé společnosti. Jde o dva hlavní důvody.

Zásoby ropy na zemi se stále tenčí. Experti dnes odhadují, že již v relativně blízké době (v roce 2030) klesnou zásoby ropy - základní suroviny pro výrobu nafty a benzínu - na hranici asi 8,5 % celkového dnešního množství. V letech 2050 - 2100 pak budou vytěžena všechna dnes známá ložiska ropy [<sup>12</sup>].

Tento problém je navíc umocňován nepřetržitým růstem obyvatelstva a rozvojem hospodářské činnosti, hlavně průmyslové, a to nejen v rozvinutých zemích, ale v současné a budoucí době silně se zvyšujícím rozvojem doposud málo vyvinutých zemí.

Druhý problém související s využíváním fosilních paliv je ekologický. Při spalování a jiném užití fosilních uhlíkových surovin vzniká nemalé množství znečišťujících látek. Emise oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) zvyšují jeho obsah v atmosféře, a narušují tak rovnovážný koloběh uhlíku. Podstata přirozeného koloběhu uhlíku je v tom, že oxid uhličitý se při fotosyntéze, která probíhá u rostlin, transformuje na uhlík. Ten se zabudovává do různých organických sloučenin, které při fotosyntéze vznikají. Vzniklé organické sloučeniny se následně při jejich spalování, užití vyššími organismy nebo působením mikroorganismů přeměňují zpětně na oxid uhličitý a tím je tento cyklus vyrovnaný [<sup>3</sup>].

Vyrovnaná bilance uhlíku při jeho koloběhu je narušována vstupem uhlíku z jiného zdroje, než je přírodní cyklus a tím je uhlík z fosilních zdrojů, přicházející do atmosféry hlavně v důsledku lidské činnosti při jejich spalování, nebo jiném typu oxidační přeměny [<sup>3</sup>].

Přirozené mechanismy (fotosyntéza, rozpouštění v oceánech a vylučování uhličitánů), které udržovaly obsah oxidu uhličitého v atmosféře na stálé úrovni, nestačí v posledních desetiletích zabezpečovat vyrovnanou bilanci uhlíku, tj. spotřebu oxidu uhličitého, jehož obsah v atmosféře roste [<sup>3</sup>].

Oxid uhličitý je hlavním plynem, který vyvolává tzv. skleníkový efekt. V důsledku toho se snižuje emise tepla ze zeměkoule do vesmíru, čímž dochází na Zemi ke zvyšování teploty. Dalšími skleníkovými plyny jsou metan, oxidy dusíku, chlorované a fluorované uhlovodíky [<sup>3</sup>].

Zvyšování teploty, tzv. globální oteplování má za následek celkové změny klimatu, před kterými již delší dobu varují vědci po celém světě.

## 2.0 Biopaliva

Biopaliva obecně jsou produkty vyrobené z biomasy určené jako zdroje energie. Jako suroviny se k jejich výrobě využívají nejrůznější druhy biomasy pěstované cíleně. Patří sem obilí, olejniny, cukrová řepa a třtina, brambory, kukuřice, trávy, dále odpadní biomasa jako zbytky z rostlinné výroby, hlavně sláma, odpady z živočišné výroby, hlavně exkrementy, odpady komunální, odpady potravinářského a dřevozpracujícího průmyslu a lesní odpady [3].

Biopaliva se vyrábějí ve formě pevné (brikety, pelety), kapalné (rostlinné oleje a jejich deriváty, bioetanol, étery získávané z biomasy: bio-ETBE, bio-MTBE, DME) a plynné (bioplyn).

Tato práce je věnována především **rostlinným olejům** a palivům získávaných úpravou (esterifikací) těchto olejů.

Z technických plodin má velký potenciál především řepka olejná. Jednak díky možnosti jejího pěstování na relativně velkých plochách a dosahovaným výnosům, dále díky vyřešeným technologiím pěstování, sklizně a jisté univerzálnosti využití celé produkce.

Řepka je ta rostlina, kterou můžeme vidět na velké části českých polí. Kvete poměrně brzy žlutým květem, rostlina dosahuje výšky zhruba okolo 1m, má holý stonek našedivělé či šedozelené barvy. Řepka je pro pole velmi náročná plodina, která z něj "vysaje" hodně živin. Proto ji lze na tom samém poli pěstovat minimálně s odstupem čtyř let. Tím je celkem přesně dané maximální množství řepky, které lze v ČR za rok vypěstovat [9].

Česká republika je tradičním producentem řepky olejné, která je s ohledem na geografickou polohu ČR hlavní olejinou. Klimatické podmínky na většině území ČR jsou základním předpokladem pro úspěšnou a ekonomickou produkci řepky, která se z větší části zpracovává na řepkový olej pro potravinářské a technické užití a částečně se exportuje [3].

### 2.1 Estery rostlinných olejů

Jde o chemicky upravený surový rostlinný olej, aby se jeho vlastnosti co nejvíce přiblížily motorové naftě a mohl se používat v moderních naftových motorech.

Potřebnou chemickou reakcí je esterifikace, při které se mění na methylester nebo ethylester nasycených mastných kyselin, obecně označované jako FAME (Fatty Acid Methylester, tj. metylestery mastných kyselin). Molekuly esterů mají menší rozměry než molekuly tuků a v důsledku toho mají estery nižší viskozitu a průběh přípravy paliva i jeho spalování ve válci motoru je příznivější než v případě olejů.

#### 2.1.1 Vlastosti

Metylestery mastných kyselin jsou směsí esterů mastných kyselin obsažených ve výchozí přírodní surovině, tj. v příslušném rostlinném oleji.

Nejpoužívanějšími surovinami jsou řepkový, slunečnicový, sójový a palmový olej, které mají následující složení obsažených mastných kyselin uvedené v tabulce 1.



Tab. 1 Průměrné složení mastných kyselin obsažených v rostlinných olejích (% hm.) [3]

Mastná kyselina	Označení	Řepkový	Slunečnicový	Sójový	Palmový
Myristová	14:0	-	-	-	1 - 2
Palmitová	16:0	4 - 5	6 - 7	9 - 11	40 - 47
Stearová	18:0	1 - 2	3 - 5	3 - 5	4 - 6
Olejová	18:1	45 - 60	20 - 30	20 - 27	33 - 38
Linolová	18:2	16 - 28	56 - 66	48 - 55	1 - 3
Linolenová	18:3	9 - 13	> 1,5	5 - 11	> 1
Eruková	22:1	> 1	-	-	-

Pozn. ve sloupci „označení“ první číslo znamená počet atomů uhlíku a druhé číslo počet dvojných vazeb.

Metylestery získané z uvedených surovin mají stejné složení jako výchozí oleje a jejich vlastnosti jsou ovlivněny různým obsahem jednotlivých kyselin. Nejpoužívanějšími metylestery v ČR a v Evropě jsou estery z řepkového oleje označované jako MEŘO (metylester řepkového oleje)

FAME musí svojí kvalitou vyhovovat parametrům stanovených ČSN 14214:

Obsah esteru, min.	96,5 m/m
Hustota při 15°C	860-900 kg/m <sup>3</sup>
Viskozita 40 °C	3,5-5,0 mm <sup>2</sup> /s
Obsah vody max.	300 mg/kg
Hustota při 15°C	860-900 kg/m <sup>3</sup>
Cetanové číslo min.	51
Bod vzplanutí min.	120 °C
Oxidační stabilita min.	6 hod.
Mechanické nečistoty max.	24 mg/kg
Obsah fosforu max.	10 mg/kg
Obsah síry max.	10 mg/kg

Většina stanovených parametrů závisí na použité technologii a dodržení výrobních postupů. Některé parametry jsou dány použitou surovinou a technologicky se nedají ovlivnit [3]:

### 2.1.2 Zpracování olejnatých semen

K výrobě rostlinných olejů z olejnatých semen se používají dva základní technologické postupy: lisování semen a extrakce organickým rozpouštědlem.

#### Lisování:

Uskutečňuje se v šnekových lisech buď bez ohřevu výchozích semen, tzv. studené lisování, nebo s jejich tepelnou předúpravou. Výroba zahrnuje drcení, případně vložkování semen, tepelnou kondicionaci, vlastní lisování systémem předlis-dolis, čištění oleje zpravidla filtrací nebo odstředivou separací a úpravou výlisků. Při zpracování semen řepky (obsah oleje cca 42 %) se dosahuje obsahu oleje ve výliscích 8 – 12 %, což odpovídá výtěžnosti cca 80%. Tato technologie se používá obvykle pro nižší výrobní kapacity.

## **Extrakce organickým rozpouštědlem:**

Při extrakci olejnatých semen se používá systém předlis – extrakce, kde vstupní semena se upravují vločkováním a tepelnou kondicionací, lisují se na obsah oleje cca 18 –20% a následně extrahují rozpouštědlem (hexanem) . Rozpouštědlo se z oleje odstraní destilací a vrací zpět do procesu. Šroty z extrakce se zbavují rozpouštědla a chladí. Získaný olej se filtruje. Šroty obsahují 1 – 2 % oleje, což odpovídá výtěžnosti cca 98%. Technologie se používá při vyšších kapacitách zpracování semen.

### **2.1.3 Využití FAME**

Hlavní užití je jako motorové palivo do vznětových motorů. Používají se v podstatě třemi způsoby:

1. Jako čisté motorové palivo, v tomto případě se vyžaduje schválení výrobce motorů.
2. Další častější možností je smíchání směsi FAME s klasickou naftou. Tato směs se označuje jako směsná motorová nafta (SMN). Obsahuje max. 36% FAME a zbytek motorovou naftu.

### **2.1.4 Ekologie**

Z hlediska vzniku škodlivých emisí má velký význam kyslík obsažený v esterech, který zlepšuje průběh spalování v motoru, což vede ve srovnání s naftou k výrazně nižší tvorbě pevných částic. Nižší množství částic je též důsledkem velmi nízkého obsahu síry v methylesteru. Částice s menším obsahem síry jsou méně karcinogenní.

Při spalování v motoru je významný též krátký průtah vznícení, který souvisí s cetanovým číslem paliva. FAME dosahuje cetanového čísla až 55, tj. vyššího než nafta, jejíž cetanové číslo bývá přibližně 50. V důsledku kratšího průtahu vznícení se zmenší množství paliva shořelého při stálém objemu a hodnoty maximálních tlaků a teploty ve válci motoru jsou hlavně na počátku spalovacího procesu s FAME nižší.

S cílem ověřit základní vlastnosti FAME, zejména jeho vliv na množství škodlivin obsažených ve výfukových plynech, byla na Technické univerzitě v Liberci v rámci výzkumného záměru č. MSM 242100001 podporovaného MŠMT ČR provedena srovnávací měření škodlivých výfukových emisí nepřepřehnaného vznětového motoru bez katalytického reaktoru při provozu na běžnou motorovou naftu a při provozu na FAME od několika výrobců. Na základě výsledků zkoušek lze konstatovat , že přechodem z provozu s naftou na provoz s FAME [2]:

- výfukové emise CO klesly v průměru zhruba na 95 %,
- výfukové emise CH klesly na 80 až 85 %,
- výfukové emise NOx vzrostly na 105 % až 110 %,
- obsah pevných částic ve výfukových plynech se snížil na 48 % až 70 %.

### 2.1.5 Nevýhody FAME

Z nevýhodných vlastností FAME jako motorového paliva bývají v porovnání s naftou nejčastěji uváděny následující [4]:

- agresivita vůči součástkám vyrobeným z pryže (hadice, těsnění) a k některým lakům a barvám,
- zvýšená tvorba úsad v motoru a v jeho palivovém příslušenství (např. látky charakteru pryskyřic a polymerů),
- po přechodu z používání nafty na FAME se rozpouští úsady v palivovém systému a nepříznivě ovlivňují funkci např. palivových filtrů a vstřikovacích trysek,
- rychlejší znehodnocování motorových olejů (ředění vlivem metanolu obsaženého v FAME hlavně při častějším provozu studeného motoru) a nutnost častějších výměn olejů,
- problémy při provozu (hlavně spouštění motoru) a skladování FAME za nízkých teplot,
- snížení výkonu motoru při původním seřízení vstřikovacího čerpadla pro provoz na naftu až o 10 %,
- vysoká výrobní cena FAME, závisí na technologii výroby, výrobní náklady na 1 l jsou nejméně 3 x vyšší než náklady na výrobu motorové nafty.

## 2.2 Surový rostlinný olej

Druhou možností, jak naložit s rostlinným olejem, je používat ho surový bez úprav, nebo jen s minimálními chemickými úpravami. Pokud chceme surový rostlinný olej spalovat ve vznětovém motoru, je zapotřebí poměrně rozsáhlá úprava příslušenství motoru. Výroba surových rostlinných olejů již byla zmíněna v kapitole 2.1.3 “Zpracování olejnatých semen”.

### 2.2.1 Druhy rostlinných olejů a tuků

Rostlinných olejů je mnoho druhů, každý má trochu odlišné vlastnosti, přičemž mezi ty nejdůležitější z hlediska jejich využití pro spalování v motorech jsou: bod tuhnutí, teplota vznícení, jodové číslo, kinem. viskozita, cetanové číslo, výhřevnost, hustota (viz tab. 2).

Tab. 2 Druhy rostlinných olejů a tuků [10]

	Jodové číslo	Cetanové číslo	Výhřevnost (kJ/kg)	Kinem. viskozita při 38 °C (mm <sup>2</sup> /s)	Bod tuhnutí (°C)	Bod vzplanutí (°C)
Ricinový olej	82-88	38,5	39500	297	-31,7	260
Kokosový olej	90-100	49,1	39516	41,2	-20,6	293
Kukuřičný olej	103-140	37,6	39500	34,9	-40	277
Bavlníkový olej	90-119	41,8	39468	33,5	-15	234
Crambe oil	93	44,6	40482	53,6	-12,2	274
Lněný olej	168-204	34,6	39307	27,2	-15	241
Arašídový olej	80-106	41,8	39782	39,6	-6,7	271

Řepkový olej	94-120	37,6	39709	37	-31,7	246
Slunečnicový olej	126-152	41,3	39519	31,3	-6,7	260
Sezamový olej	104-120	40,2	39349	35,5	-9,4	260
Sojový olej	117-143	37,9	39623	32,6	-12,2	254
Lůj	35-48	-	40054	51,2	-	201

## 2.2.2 Základní vlastnosti surového rostlinného oleje

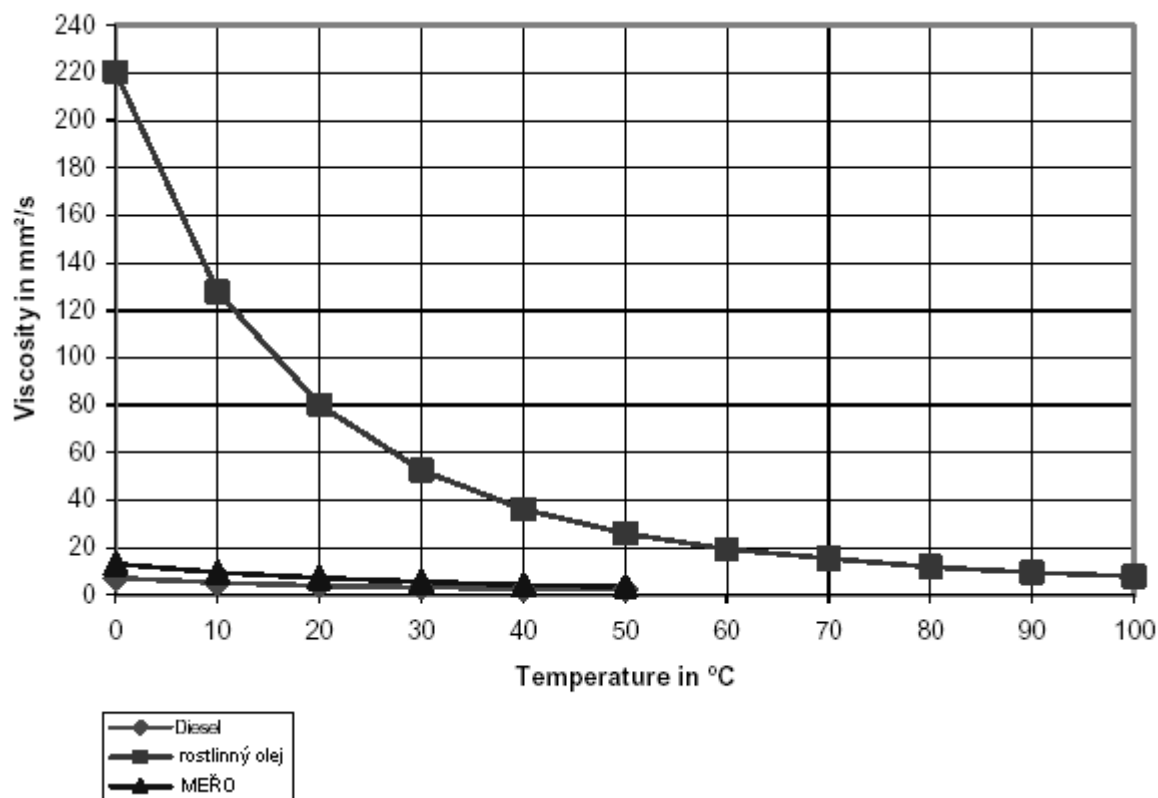
V surovém stavu (po vylisování olejnatých částí rostliny) se rostlinný olej skládá z triglyceridů. Podle pěstebních podmínek (především teploty) vznikají v olejnatých plodinách řetězce různých nenasyčených mastných kyselin: v jižnějších šířkách obsahují molekulové řetězce méně jak 18 atomů uhlíku v molekule, pěstování v podmínkách nižších vegetačních teplot vede ke vzniku delších řetězců nenasyčených kyselin s více jak 16 uhlíkovými molekulami. Hladina nenasyčených mastných kyselin v rostlinném oleji je vyjádřena tzv. jódovým číslem: čím vyšší je jódové číslo, tím větší je náchylnost rostlinného oleje k polymerizaci [4].

Základní látkové vlastnosti řepkového oleje [4]:

Hustota (15 <sup>0</sup> C)	0,90 – 0,93 g/cm <sup>3</sup>
Výhřevnost	39 MJ/kg
Teoretická spotřeba vzduchu	12,9 kg/kg
Kinematická viskozita (40 <sup>0</sup> C)	38 mm <sup>2</sup> /s
Teplota vzplanutí (Pensky-Martens)	240 <sup>0</sup> C
Cetanové číslo	38
Obsah síry (% hm.)	0,001% (max.)
Koksovatelný obsah (% hm.)	0,4% (max.)
Obsah fosforu	15 mg/kg (max.)
Celkové znečištění	25 mg/kg (max.)
Obsah vody	1000 mg/kg (max.)
Číslo kyselosti	2 mg KOH/g
Jódové číslo	118

Kinematická viskozita:

Na rozdíl od motorové nafty má velmi odlišnou viskozitu (viz obr. 01), která se přibližuje motorové naftě po zahřátí na dostatečnou teplotu (75 ÷ 90<sup>0</sup>C) a dokonale shoří až při teplotě okolo 320 °C. Tato teplota se nedosahuje například při volnoběžných otáčkách nebo při nezátíženém motoru.



Obr. 1 Graf viskozity oleje a nafty v závislosti na teplotě [5]

### 2.2.3 Ekologie

Přehled o změně úrovně škodlivých výfukových emisí motorů po přechodu z provozu na naftu na provoz na rostlinné oleje poskytuje tabulka 3 podle [2]. Původní naftové motory byly vhodnými úpravami přizpůsobeny pro spalování rostlinných olejů a provozovány na různé oleje (řepkový, sójový, palmový). Relativní úrovně výfukových emisí motorů při provozu na rostlinné oleje v % jsou vztaženy k hodnotám emisí při provozu motorů na naftu, kterým je přiřazeno 100 %.

Tab. 3 Relativní úrovně škodlivých výfukových emisí motorů po přechodu z provozu motorů na naftu do provozu na rostlinné oleje

Výfukové škodliviny	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	PAH
Relativní emise [%]	60-130	40-200	75-120	50-150	10-100

Ve výfukových plynech vznětového motoru na surový řepkový olej jsou v porovnání s provozem motoru na naftu podle [14]:

- srovnatelné koncentrace NO<sub>x</sub>,
- kouřivost motoru se sníží o cca 30%,
- koncentrace CO se zvýší až o 50%,
- koncentrace nespálených uhlovodíků HC se proti naftě zvýší více jak na dvojnásobek,
- koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) ve výfukových plynech výrazně poklesne cca o 1 řád,

- koncentrace aldehydů a ketonů ve výfukových plynech se zvýší, a dává tak výfukovým plynům charakteristický zápach, který může vyvolávat i určité zdravotní komplikace.

Škodlivé výfukové emise traktorových motorů se zjišťují podle předpisu EHK 96 při osmi režimech chodu motoru, viz tabulku .....

Změny výfukových emisí šestiválcového traktorového motoru Deutz BF6M1013EC (jmenovitý výkon 119 kW) po přechodu z provozu na naftu na provoz na řepkový olej při režimech testu podle předpisu EHK 96 uvádí tabulka 4.

Tabulka 4. Výfukové emise zjištěné podle předpisu EHK 96 u motoru Deutz BF6M1013EC po přechodu z nafty na řepkový olej [14]. Hodnocení: 0...přibližně shodné, +...mírně vyšší, ++...vyšší, +++...výrazně vyšší, -...mírně nižší, - ... nižší, - - - ...výrazně nižší

Režim	Výkon [%]	Otáčky [1/min]	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]
1	100	jmenovité	0	- -	+	--
2	75	jmenovité	0	- -	+	-
3	50	jmenovité	0	- - -	+	-
4	10	střední	- -	- - -	0	++
5	100	střední	++	-	+	-
6	75	střední	++	- -	+	+
7	50	střední	+	- - -	+	++
8	-	volnoběh	+++	-	0	+++

Ekologickou výhodou řepkového oleje je ovšem prakticky nulový příspěvek k zatěžování ovzduší produkcí CO<sub>2</sub>, neboť koncentrace CO<sub>2</sub> ve výfukových plynech je po rozptýlení v ovzduší využita znovu k růstu biomasy a tím je zajištěna recyklace uhlíku a kyslíku z CO<sub>2</sub>. Velkou výhodou řepkového oleje je jeho biologická rozložitelnost v přírodě: během 3 týdnů se po vnesení řepkového oleje do přírody samovolně rozloží více jak 90% jeho množství (u nafty to je cca 20%). Rovněž toxicita surového řepkového oleje je velmi nízká (je na úrovni jedlých olejů).

## 2.2.4 Nevýhody

### Vliv rostlinného oleje na motorový olej:

Podle velikosti opotřebení motoru vznikají malé netěsnosti mezi stěnou válce a pístem, resp. těsníci kroužky. Nespálený řepkový olej stéká po stěnách válců a mísí se s motorovým olejem. Nafta se v tomto případě odpaří, avšak řepkový olej při daných teplotách ne. Vzniká chemická reakce tzv. polymerizace, která způsobí přeměnu motorového oleje na „kaši“ bez mazacích vlastností (viz obr. 2, 3).

Další důvody pro toto znečištění jsou především následující:

- horší příprava směsi ve vznětovém prostoru,
- zatuhnutí pístových kroužků,

- netěsné vstřikovací trysky nebo netěsná vstřikovací čerpadla mazaná motorovým olejem,
- studené starty, nízká teplota řepkového oleje.

Rostlinný olej také reaguje s vodou, která pronikla do motorového oleje kondenzací vzdušné vlhkosti. Dochází k chemickým reakcím, které způsobují korozi a poškození motoru.

Proto se při provozu na rostlinný olej doporučuje zkrácení intervalů výměny motorového oleje (což je na úkor ekologie). Ideálním řešením je však instalace obtokového mikrofiltru motorového oleje, který z motor. oleje odstraní nejen vodu, ale i ultrajemné částice způsobující abrasivní opotřebení motoru.

#### Kvalita rostlinných olejů [1]:

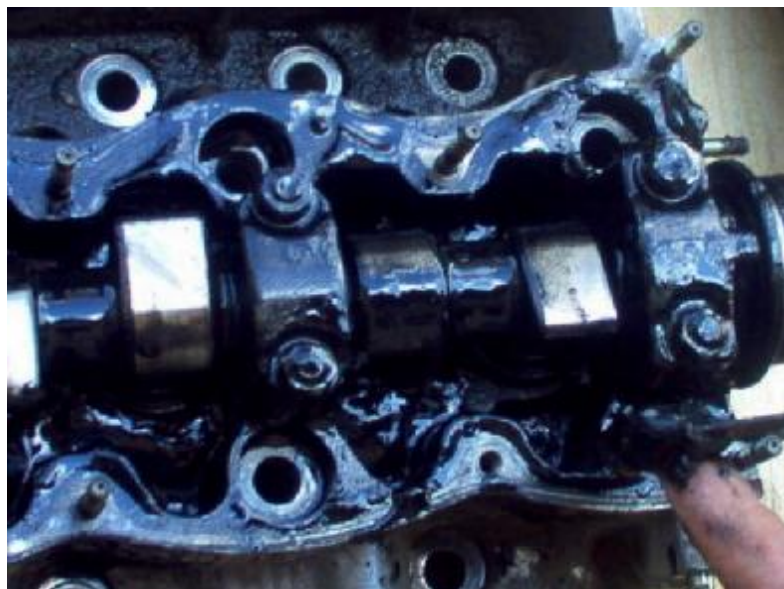
Rafinované rostlinné oleje většinou naprosto bez problému splňují požadavky na kvalitu. U mnoha zařízení na lisování za studena to tak není. Tohoto se dá často dosáhnout pomocí přidavných filtrovacích stupňů.

Při výrobě rostlinného oleje v palivářské kvalitě lisováním za studena je velmi důležité, aby olejnaté semeno mělo vlhkost nižší než 8 %. Po sklizni bylo uskladněno nejméně 3 ÷ 4 týdny, aby se zklidnilo a bylo dostatečně přečištěno.

Olejnaté plody obsahují olejové glyceridy nenasycených mastných kyselin, tzv. triglyceridy. Vysoká hladina nenasycených mastných kyselin v surovém řepkovém oleji představuje velké riziko polymerizace (zejména za přítomnosti vody nebo vlhkosti): kyselost se snižuje alkalickým katalyzátorem (vznikají alkalická mýdla, která se separují), číslo kyselosti nemá překročit 2 mg KOH/g a obsah vody v surovém řepkovém oleji má být pod 0,1% hm. Mastné kyseliny v surovém řepkovém oleji vedou k tvoření kalů a úsad v palivovém systému vznětového motoru a na součástech uvnitř válcové jednotky motoru (na hlavě válců, na pístu i na ventilech), zbytkové množství vody vyvolává hydrolyzu a „zmýdelnatění“ olejových glyceridů.

#### Kinematická viskozita:

Další nepříznivou vlastností řepkového oleje je již zmíněná vysoká viskozita (viz. 2.2.2 „Základní vlastnosti řepkového oleje“), která zhoršuje jeho čerpatelnost a ve vznětovém motoru výrazně zhoršuje kvalitu tvoření směsi (paprsek vstřikovaného paliva se nerozpadá na dostatečně jemné kapky, tzv. palivovou mlhu). Odlišnost struktury molekul v surovém řepkovém oleji proti chemické struktuře motorové nafty spolu s horší kvalitou tvoření směsi se projevují i na změnách koncentrace výfukových škodlivin. Někdy se pro snížení viskozity přidávají i aditiva.



Obr. 2 Polymerizace motorového oleje - následek spalování rostlin. oleje v neupraveném motoru [7]



Obr. 3 Znehodnocený motorový olej – polymerizací [7]

### 3.0 Přestavba vznětového motoru pro pohon na rostlinný olej

Rostlinný olej jako palivo ve vznětových motorech není nová myšlenka. Rudolf Diesel předvedl již v roce 1900 na výstavě v Paříži svůj motor, který spaloval arašídový olej [9].

Důvodem bylo rozšiřováním nasazení dieselových motorů i do rozvojových zemí, kde byl problém zabezpečit fosilní paliva a nebyl v těchto zemích téměř žádný petrochemický průmysl.



### 3.1 Přestavba všeobecně

Obecně lze říci, že pro provoz na surový rostlinný olej je možné přestavět každý vznětový motor. U některých je to ovšem z konstrukčního hlediska jednodušší, u některých složitější a u některých jsou technické překážky takové, že přestavba je sice možná, ale je tak nákladná, že se nevyplatí. K přestavbám je proto třeba přistupovat individuálně nejen pro každý typ motoru a čerpadla, ale i z hlediska způsobu vlastního provozu [1].

Principiálně jsou u naftových vozidel používány dva druhy přestavby pohonu na rostlinný olej označované jako dvoupalivový systém a jednopalivový systém.

**Dvoupalivový systém** je nejrozšířenější pro svoji univerzálnost, možnost snadné montáže a demontáže. Princip fungování je navenek velmi jednoduchý: Vozidlo má dvě nádrže, studený motor se nastartuje na naftu a po zahřátí na vhodnou teplotu se přepne přívod paliva. Pokud je motor teplý, bez problémů startuje i na rostlinný olej. Před předpokládaným delším odstavením vozidla se přívod paliva opětovně přepne na naftu, vstřikovač i čerpadlo se vypláchne a po vypnutí motoru do dalšího startu zůstává v palivové soustavě nafta.

Motor s **jednopalivovým systémem** je provozován pouze na olej. Vyžaduje však realizaci větších konstrukčních úprav příslušenství i samotného spalovacího prostoru vznětového motoru.

Motory s jednonádržovým systémem se dají také přestavět z původně vznětového motoru. Existují však i specializované firmy, které takovéto motory vyvíjejí a vyrábějí, jako například - Elsbett konstruktion, Anlagen and Antriebstechnik Nordhausen GmbH, MWB, HAUSMANN.

#### 3.1.1 Funkce dvoupalivového systému

Tento systém se nejčastěji používá pro přestavbu klasických naftových motorů s přímým vstřikováním.

Výhoda spočívá v tom, že není nutné nijak upravovat spalovací prostor (vstřikovací trysky, píst, popřípadě hlavu válců), jen se přizpůsobí palivové příslušenství (přídavná nádrž, pomocné čerpadlo, elektromagnetické ventily atd.).

Nevýhoda spočívá například v tom, že většina těchto systémů nedokáže sledovat zatížení motoru, přičemž především při volnoběhu a nižším zatížení motoru dochází ke zhoršenému spalování a vyššímu průniku paliva do motorového oleje. Pouze stroje, které běží po většinu času v plném výkonu, jsou vhodné pro jednoduchou přestavbu bez automatického přepínání na naftu při poklesu zátěže [1].

Náklady na přestavbu jsou relativně málo závislé na velikosti motoru, tudíž se přestavba vyplatí především u strojů, které mají vysokou spotřebu a jsou během roku silně vytěžovány (traktory, nákladní automobily). Právě u těchto strojů bývá riziko poškození většinou nižší [1].

### 3.1.1.1 Palivové nádrže

Jak již bylo řečeno a je patrné z názvu celé koncepce, dvoupalivový systém obsahuje dvě palivové nádrže. Jedna je pro rostlinný olej a druhá pro motorovou naftu.

Je dobré zachovat původní palivový systém. Tím je zásah do originální palivové soustavy minimální.

Jako přídatnou nádrž pro olej můžeme použít některý z hotových typů vyrobených pro tento účel (viz obr. 4). Některé z těchto nádrží mohou být vybavené elektrickým vyhříváním. Při použití přídatných nádrží v dopravních prostředcích musíme však počítat s tím, že zaberou relativně velký prostor.

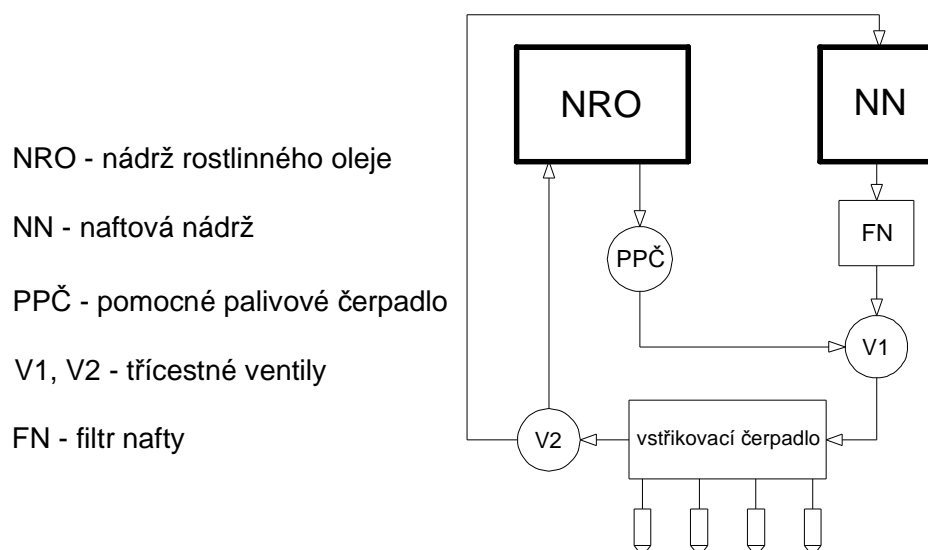
U některých vozidel se naopak původní palivová nádrž využije pro rostlinný olej a pro naftu se přidá přídatná nádrž (s objemem cca 5-10 litrů).

Přepínání přívodu paliva mezi jednotlivými nádržemi je řízeno třícestným ventilem.

Zpětný přepad paliva se dá vyřešit odvodem přebytečného paliva do nádrže s rostlinným olejem. Při chodu motoru pouze na naftu (startu nebo „rychloproplachu“) se nafta mísí s rostlinným olejem, což může být nevýhodné. Při použití dalšího třícestného ventilu je možné zpětný přepad rozdělit do obou nádrží (viz obr 5).



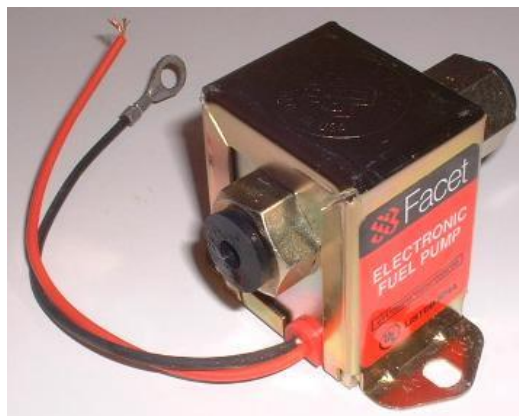
Obr. 4 Přídatná palivová nádrž umístěná v zavazadlovém prostoru osobního automobilu



Obr. 5 Schéma zapojení nádrží u dvoupalivového systému

### 3.1.1.2 Přívod paliva

Pro přívod paliva se používají plastové trubky na palivo, které jsou běžně k dostání. Tyto trubky se dají dobře formovat. Na přívod z olejové nádrže je nutné potrubí o minimální světlosti 10 mm, nebo větší (záleží to hlavně na typu motoru). Na přepad stačí trubka se světlostí 8 mm, jelikož při ohřátí se hustota oleje sníží. V případech, kde není možné osadit palivové trubky většího průměru, nebo se z jiných důvodů nedá zabezpečit dostatečný přísun paliva, je nutné zabudovat do systému pomocné palivové čerpadlo <sup>[7]</sup> (obr. 5, 6)



Obr. 6 Pomocné palivové čerpadlo [6]

### 3.1.1.3 Elektromagnetické ventily

Přepínání mezi jednotlivými nádržemi se dá jednoduše realizovat pomocí třícestného ventilu. V tom nejjednodušším případě by dokonce stačil jen obyčejný ventil ovládaný ručně (stacionární motory). U moderních přestaveb dopravních prostředků se však využívají třícestné ventily ovládané elektromagneticky (viz obr.7). Systém je pak sestaven tak, že řídicí jednotka sleduje teplotu a podle ní paliva přepíná.

Konstrukce ventilu musí být taková, aby byl zaručen dostatečný průtok a spolehlivost vzhledem ke zhoršené viskozitě oleje.

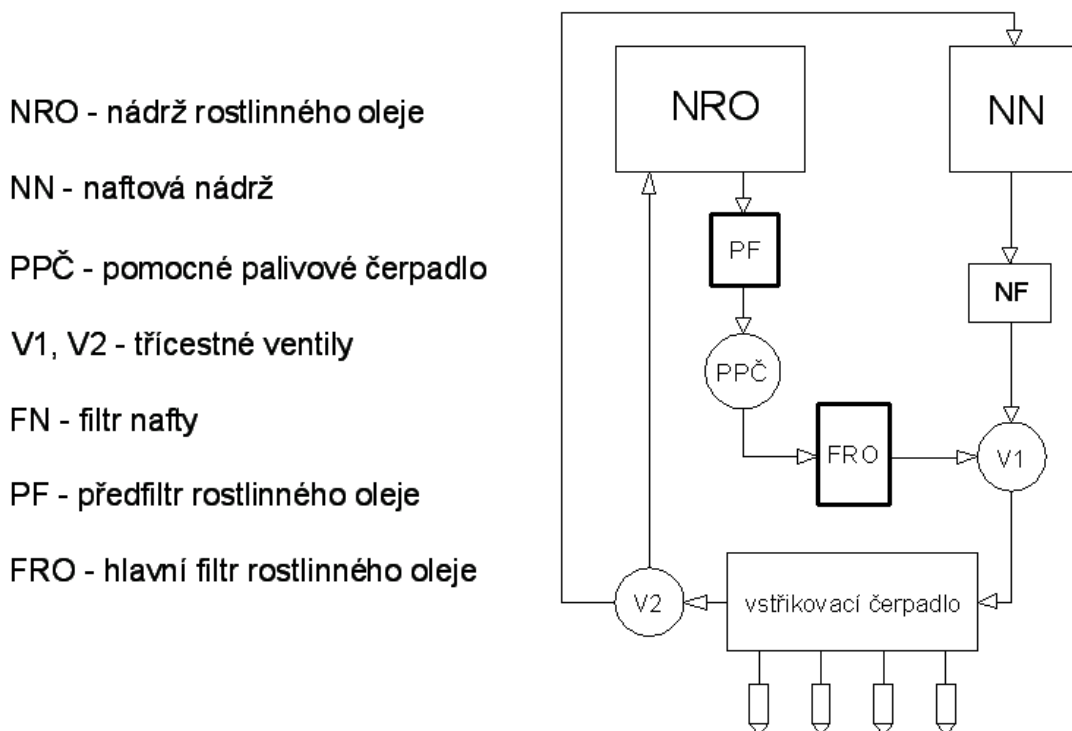


Obr. 7 Třícestný elektromagnetický ventil [6]

#### 3.1.1.4 Palivové filtry

Filtrace rostlinného oleje je velice důležitá zvláště v případě, kdy rostlinný olej není zcela kvalitní (viz 2.2.4 „Nevýhody – kvalita rostlinných olejů“).

Pro filtraci se používají stejné filtry jako pro motorovou naftu, v lepším případě se použije filtr s většími rozměry kvůli průtoku. Olejový filtr se rychleji znečistí než filtr naftový, a je tedy potřeba jeho častější výměna. Životnost se dá výrazně zvýšit, pokud bude filtrem protékat olej s menší viskozitou (zahřátý na dostatečnou teplotu). K tomuto účelu je možné filtry různými způsoby vyhřívat. Výhodné je také použít hrubý předfiltr umístěný hned za nádrží.



Obr. 8. Schéma zapojení palivových filtrů u dvoupalivového systému

#### 3.1.1.5 Ohřev paliva

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.2, olej se svou viskozitou tuhne již při teplotách v okolí bodu mrazu, proto je potřebné do vozidla instalovat zařízení k jeho ohřevu. Olej musí být dostatečně tekutý před tím, než se dostane do palivového filtru a vstřikovacího čerpadla. Studený olej s vysokou viskozitou může poškodit vstřikovací čerpadlo. Viskozita řepkového oleje je při 70 °C přibližně stejná jako viskozita nafty při 0°C. Ohřev oleje je proto jedním z nejdůležitějších kroků přestavby. Využívány bývají následující způsoby ohřevu rostlinného oleje:

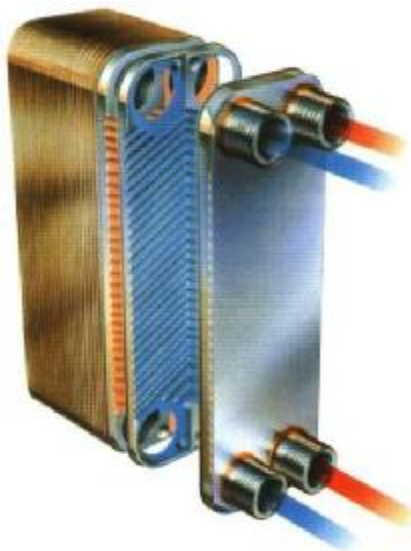
##### A) Elektrický ohřev paliva [7]:

Užitečný hlavně při studených startech a krátce po startu. Při příkonu od 150 W však může velmi rychle vybit baterii. Ohřevy jsou řešené buď prostřednictvím žhaviče, nebo systémem indukčního ohřevu. V případě použití žhaviče, který je instalován v palivovém systému tak, že studený olej okolo něj obtéká, vytváří na jeho povrchu úsady. Částičky úsad

se odlupují a dostávají dále do palivového systému. Z mnohých důvodů jsou indukční ohřevy vhodnějším řešením.

#### B) Výměník tepla [7]:

Jako médium pro výměnu tepla se dá použít chladicí kapalina popřípadě mazací olej. Tento způsob ohřevu se využívá u dvoupalivových systémů, kdy je motor provozován na naftu až do doby dostatečného ohřátí chladicí kapaliny nebo mazacího oleje. V praxi se používají deskové výměníky, vyznačující se velkou účinností. Výhodou je jejich jednoduchost a snadná instalace.



Obr. 9 Deskový tepelný výměník

#### C) Kombinace el. ohřevu spolu s výměníkem tepla:

Může být realizován výměníkem tepla a elektrickým ohřevem zapojeným zvlášť (většinou je el. ohřev umístěn za výměníkem). Nebo pomocí spec. kombinovaných ohříváčů paliva. Používané u jednopalivových i dvoupalivových systémů (obr. 12). Elektrický ohříváč se automaticky odpojí po dosažení požadované teploty, poté je ohříván pouze výměníkem. Při poklesu teploty se opět zapne i el. ohřev.



Obr. 10 Kombinovaný ohříváč paliva [6]

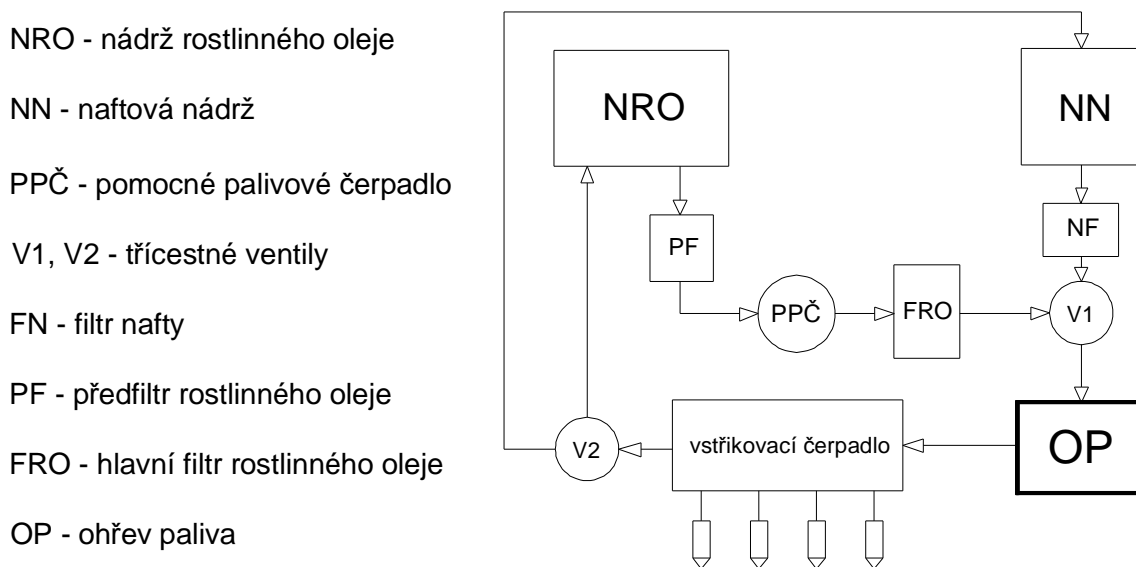
Pozn.: (Zachování teploty paliva na konstantní hodnotě)

Kromě již zmíněného ohřevu tepelným výměníkem nebo elektricky je dále důležité, aby si olej požadovanou teplotu zachoval po celé cestě palivovým systémem od nádrže až ke vstřikovacímu čerpadlu. Proto je zapotřebí použít vyhřívanou nádrž, vyhřívaný filtr rostlinného oleje, rovněž palivové vedení může být tepelně izolováno od okolí.

Pozn.: (Teplota paliva)

Je mylné se domnívat, že čím je teplota rostlinného oleje vyšší, tím lepší. Určité ohřátí paliva (cca 70 °C) je důležité pro správný chod motoru, správné rozprášení směsi vstřikovací tryskou a její zapálení. Vysoká teplota (nad 80 °C) způsobuje jiné problémy v soustavě, například vytváření vakuových bublin, případně zásadně mění poměr výkon/spotřeba. Proto je lepší sledování teploty a řízení ohřevu přenechat řídicí jednotce, která zabezpečí správné fungování systému.

Existuje několik možností umístění ohřivacího prvku. Podmínkou je, aby do vstřikovacího čerpadla tekla olej s co nejmenší viskozitou, v opačném případě se vstřikovací čerpadlo nadměrně zatěžuje a opotřebovává. Proto je výhodné umístit tepelný výměník těsně před vstřikovací čerpadlo. V případě, kdy není k dispozici vyhřívaný filtr ani vyhřívaná nádrž, je nutné olej ohřát dříve, než vstoupí do filtru. V tomto případě je však nutné počítat s větší tepelnou ztrátou.



Obr. 11 Schéma zapojení ohřevu paliva u dvounádržového systému

Zkrácení zpětného přepadu paliva (tzv. zpátečka nakrátko):

Zapojením zpětného přepadu paliva tzv. nakrátko dosáhneme mnohem rychlejšího ohřevu paliva. V tomto případě se přebytečné palivo ze vstřikovacího čerpadla nevrací do palivové nádrže, ale je přivedeno zpět před filtr, popřípadě až za něj (viz. obr 12). Nevýhodou je však nutnost použití dalšího třicestného ventilu.

NRO - nádrž rostlinného oleje

NN - naftová nádrž

PPČ - pomocné palivové čerpadlo

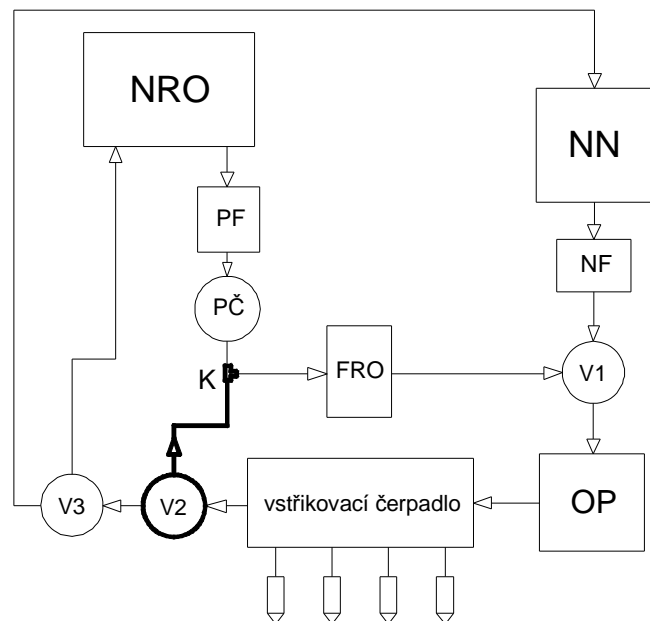
V1, V2 - třícestné ventily

FN - filtr nafty

PF - předfiltr rostlinného oleje

FRO - hlavní filtr rostlinného oleje

K - zpětný ventil

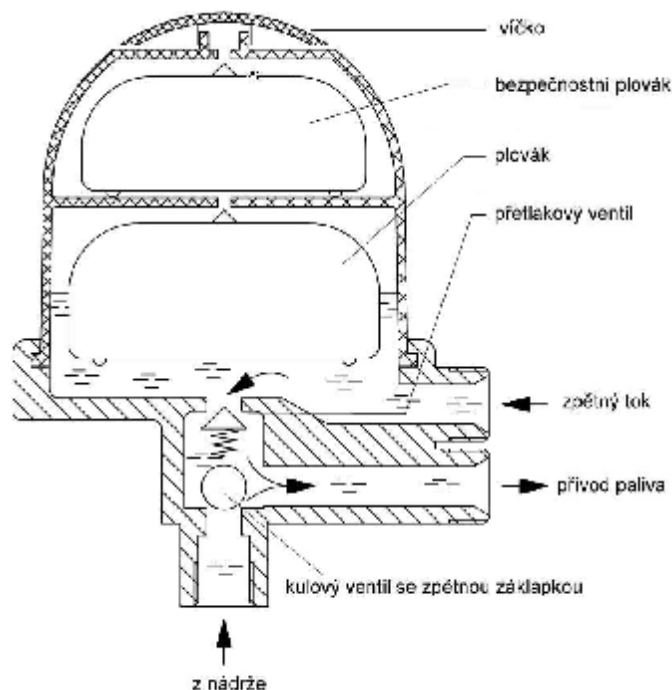


Obr. 12 Schéma zapojení „zpátečky nakrátko“ u dvopalivového systému

### 3.1.1.6 Odvzdušnění

Při propojování jednotlivých komponentů se velice těžko zajistí dokonalá vzduchotěsnost. Pokud se do systému dostane vzduch, tvoří se zde vzduchové bublinky, které znesnadňují ohřev paliva a při jejich nahromadění u vstřikovačů způsobují výpadek motoru. Proto se při přestavbě nesmí zapomenout ani na odvzdušnění.

Používají se dva druhy odvzdušňovacích ventilů. Oba jsou konstruovány tak, že se přes ně zapojí „zpátečka nakrátko“, ale oba pracují na odlišném principu. Jeden vypouští vzduch ven ze systému (obr 13) a druhý vypouští vzduch do palivové nádrže s olejem (obr. 14).



Obr. 13 Odvzdušňovací ventil vypouštějící vzduch ven ze systému a jeho schéma [6]

NRO - nádrž rostlinného oleje

NN - naftová nádrž

PPČ - pomocné palivové čerpadlo

V1, V2 - třícestné ventily

FN - filtr nafty

PF - předfiltr rostlinného oleje

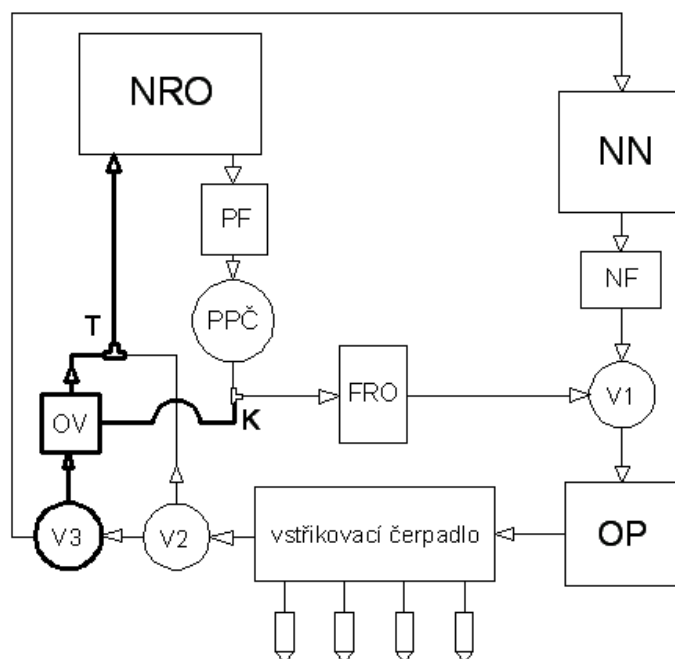
FRO - hlavní filtr rostlinného oleje

K - zpětný ventil

K - zpětný ventil

T - obyčejný T-kus

OV - odvzdušňovací ventil



Obr. 14. Schéma zapojení odvzdušňovacího ventilu u dvoupalivového systému

Pozn.: Při použití takovýchto součástí je výsledné zapojení dle všeho nejvýhodnější, jak ostatně potvrzují zkušenosti společnosti EUROPECON, která tento model využívá u svých přestaveb.

### 3.1.1.7 Snímače teploty

Snímač teploty je vždy zapotřebí pro kontrolu teploty paliva, popřípadě teploty chladicí kapaliny. Předává informaci o teplotě paliva řídicí jednotce, která poté pomocí elektromagnetického ventilu přepíná mezi jednotlivými palivy.

Snímačů teploty je několik druhů (bimetalové, polovodičové), volí se dle místa umístění a přesnosti, s jakou chceme teplotu měřit.

Dále můžeme pomocí snímače teploty hlídat zatížení motoru, jelikož při nízkém zatížení klesá teplota spalování. Zatížení se dá sledovat například měřením teploty výfukových plynů. V případě, kdy teplota poklesne, může řídicí jednotka přimíchat určité množství motorové nafty k rostlinnému oleji.

Pozn.: Pokles výkonu se dá zjistit i jinými způsoby, mimo jiné sledováním spotřeby paliva.

### 3.1.1.8 Řídicí jednotka

Hlavním úkolem řídicí jednotky je sledovat teplotu paliva a včas přepnout z nafty na olej. Ale jak již bylo řečeno, dle typu jednotky může obstarávat i jiné funkce:

- sledování teploty výfuk. plynů, chladicí kapaliny, sledování spotřeby
- signalizace prázdné nádrže na naftu



- znečištění filtru
- výměna motorového oleje
- zapomenutý proplach naftou před odstavením motoru

Řídící jednotku lze programovat pomocí notebooku, a přizpůsobí se tak požadavkům konkrétního vozidla. Veškeré provozní parametry a zprávy o chybových stavech lze zobrazit pomocí LCD displeje a LED diod.

### 3.1.2 Funkce jednopalivového systému

Úpravy palivového systému jsou obdobné jako u dvoupalivového systému (ohřev paliva, filtrace atd.). Avšak poměrně velké změny musí podstoupit i spalovací prostor z důvodů výrazného zvýšení teplot, jelikož rostlinný olej má vyšší teplotu odpařování a nižší cetanové číslo. Zatímco u běžného naftového motoru jsou maximální teploty stěn spalovacího prostoru v režimech plného zatížení cca 350 °C, spalování řepkového oleje zvýší tuto teplotu až na 600–650 °C. Teplota stěn spalovacího prostoru však nesmí dosáhnout 700 °C, aby nedošlo k defektům (riziko trhlin).

Rozsah změn závisí na druhu vstřikování. Systém je možné realizovat s přímým i nepřímým vstřikem.

Tento systém se hodí jen pro některé konkrétní aplikace. Motor musí být většinu času pod plnou zátěží a s co nejmenším počtem krátkých studených startů. Spíše se využije u stacionárních motorů nebo u specifických zemědělských strojů. Neexistuje žádné univerzální řešení. Navíc všechny tyto přestavby jsou velice nákladné. Proto je největší část této práce věnována dvoupalivovým systémům.

#### 3.1.2.1 Přímé vstřikování oleje

Výrobou takovýchto motorů se zabývá např. německá firma ELSBETT – konstruktion. Řešení těchto motorů je založené na tzv. „duothermickém“ spalování, které dovoluje redukci chlazení válcové jednotky. To bylo vysvětlováno tím, že horký střed kulového spalovacího prostoru, tvořený zónou stechiometrického spalování, je obklopován vrstvou relativně chladného vířícího vzduchu přitlačovaného odstředivou silou ke stěně komůrky, který zajišťuje chlazení současně při vytváření tepelné energie spalováním. Snižuje se tak i odvod tepla, aby se dosáhlo potřebného zvýšení úrovně teplot vzduchu ve válci po odpaření olejového paliva a nastartování oxidačních reakcí – tomu odpovídá i provedení dvoudílného pístu.

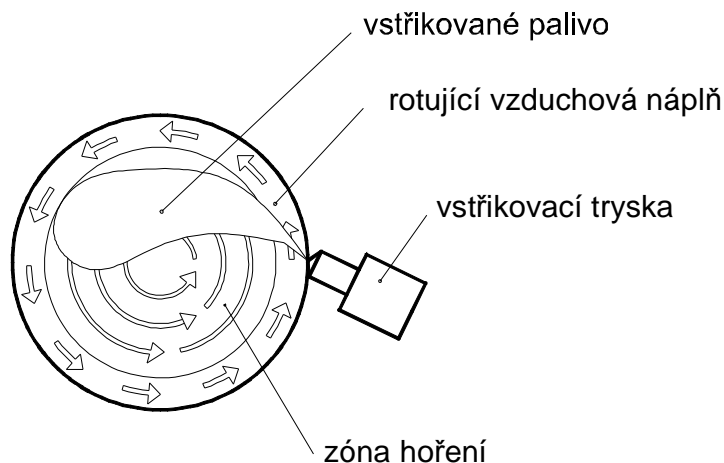
Pro dosažení vysoké účinnosti a pro zajištění výkonových a spolehlivostních parametrů se proto tyto motory konstrukčně odlišují od klasických vznětových motorů s přímým vstřikem motorové nafty [4].

Jsou vyžadovány tyto konstrukční úpravy:

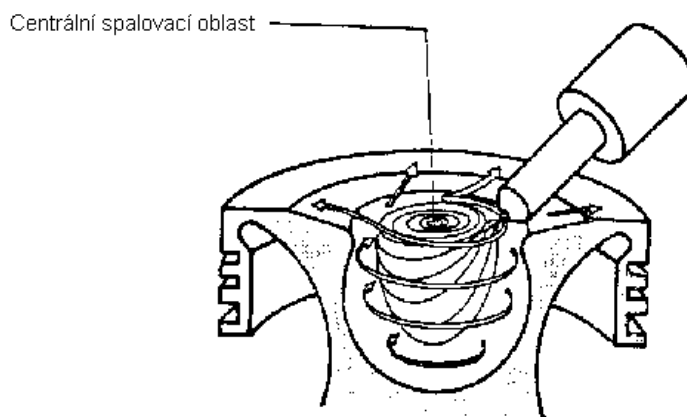
- Konstrukce hlavy válců s vysokým vírovým číslem (tangenciální swirl víření), zajišťující vysokou obvodovou rychlost vzduchové náplně uvnitř spalovacího

prostoru. Vrstva cirkulujícího vzduchu u stěny spalovacího prostoru vytváří ochrannou tepelnou izolaci stěny před vysokou teplotou v zóně hoření (viz obr. 15 a 16)

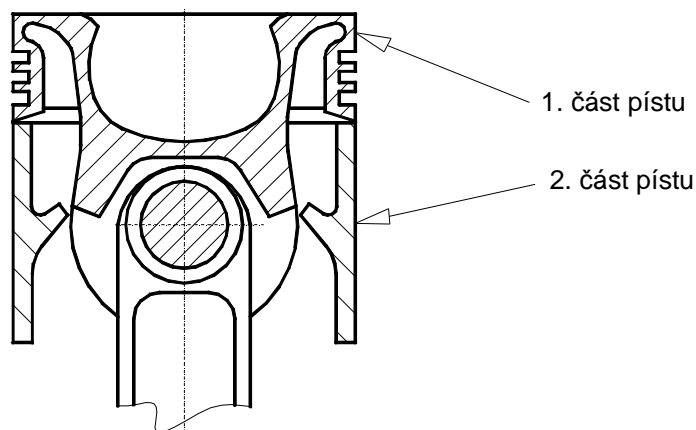
- Píst se spalovacím prostorem, zhotoveným z vysoce legované oceli (Ferrotherm) s odolností pro teploty až  $700^{\circ}\text{C}$  – řešení s využitím koncepce skládaného (dvoudílného) pístu, jehož horní díl s kroužkovou partií a spalovacím prostorem je zhotoven z materiálu Ferrotherm a spodní díl s kluznou partií je zhotoven z hliníkové slitiny (viz obr. 17). Pístní kroužky jsou zhotoveny s molybdenovou vrstvou. Jednotvářková vstřikovací tryska s optimalizovanou polohou pro spalovací prostor v hlavě pístu – vstřikovací tlaky do 1000 bar (se systémem Common Rail nejsou zatím zkušenosti)
- Materiálové řešení dílů válcové jednotky (ventily, sedla ventilů, pístní kroužky) z důvodů zvýšení celkové úrovně teplot.
- Nové řešení vstřikovací trysky.



Obr. 15 Schéma rozložení náplně (rotující vzduchová náplň, vstřikované palivo a zóna hoření) ve spalovacím prostoru při spalování surového rostlinného oleje [4]



Obr. 16 Schéma kulového spalovacího prostoru s rotující vzduchovou náplní, nástřikem surového rostlinného oleje a zónou hoření uvnitř spalovacího prostoru [4]



Obr. 17 Schéma děleného pístu [4]

### 3.1.2.2 Nepřímé vstřikování oleje

Koncepce nepřímého vstřiku paliva využívá rozděleného spalovacího prostoru, kde iniciace spalování probíhá v předkomůrce umístěné zpravidla v hlavě válce. Předkomůrka může být spojená s válcem pomocí tangenciálního kanálu, který způsobuje při kompresi silný vír v komůrce, nebo několika průšlehovými kanálky. Nevýhodou je vyšší spotřeba paliva, která by mohla být částečně kompenzována vyšším kompresním poměrem.

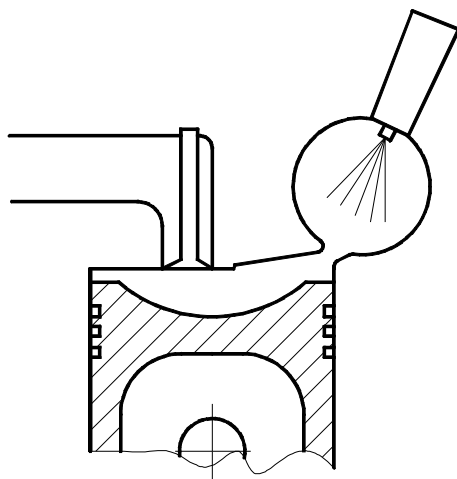
Pro spalování surových olejů má toto řešení výhodu v tom, že se potřebnost vyšších teplot pro iniciaci spalování a tím i vyšších spalovacích teplot spalování přesouvá z komůrky v pístu (pohyblivá část motoru) do komůrky v hlavě válce (stacionární část motoru).

Pro dosažení vysoké účinnosti a pro zajištění výkonových a spolehlivostních parametrů se proto i tyto motory konstrukčně odlišují od klasických vznětových motorů s nepřímým vstřikem motorové nafty.

Jsou vyžadovány tyto konstrukční úpravy:

- Konstrukce hlavy válců s vířivou předkomůrkou zajišťující vysokou obvodovou rychlost vzduchové náplně v okamžiku vstřiku paliva. Pro jeho dostatečnou teplotu k iniciaci vznětu volit kombinaci vysokého kompresního poměru s tepelnou izolací komůrky. Pro startování volit přehřev vzduchu cizím zdrojem.
- Nové řešení vstřikovací trysky optimalizované na převažující režim motoru.
- Díly válcové jednotky (píst, ventily, sedla ventilů, pístní kroužky) bez úprav.

Tato koncepce je rovněž plně akceptovatelná i při konverzi vznětového motoru s přímým vstřikem motorové nafty na nepřímý vstřik surového oleje. Místo vývoje komplikovaného skládaného pístu s nejistým dopadem na teplotní namáhání okolních pohyblivých dílů je jednodušší rekonstruovat odlitek hlavy válce s vkládanou spalovací komůrkou [4].



Obr. 18 Nepřímé vstřikování s předkomůrkou

Pozn. (Osobní automobily s nepřímým vstřikováním)

Některé starší osobní automobily se vznětovým motorem se dají relativně snadno přestavět na jednopalivový systém, nutností však je, aby motor měl nepřímé vstřikování s vířivou komůrkou a řadové vstřikovací čerpadlo. Toto platí pro některé starší vozy Merdcedes-Benz a BMW.

### 3.2 Příklady realizace vznětových motorů provozovaných na rostlinný olej

Nyní již tedy víme, že přestavět pro provoz na rostlinný olej je možné téměř každý vznětový motor. Nejvíce se přestavby využívají u osobních automobilů, nákladních vozidel, autobusů, traktorů. Zvláštností však není ani využití tohoto paliva u zemědělských a pracovních strojů, stacionárních motorů, a dokonce i u menších lodních motorů.

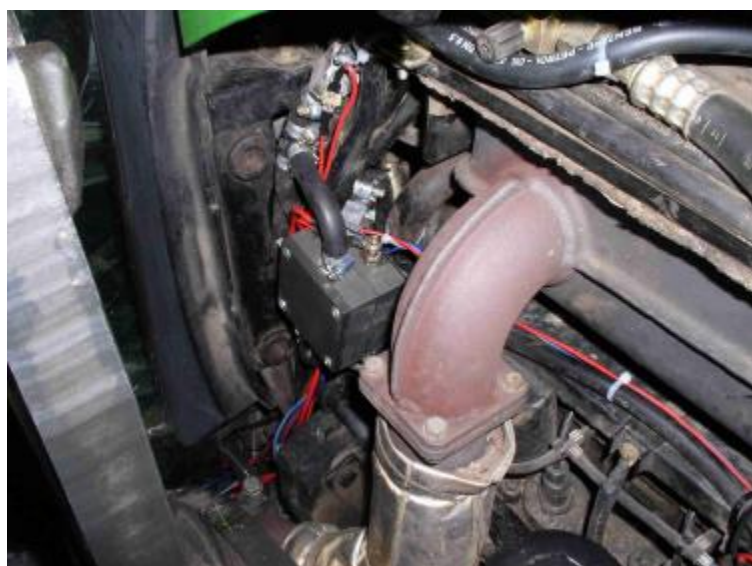
#### 3.2.1 Traktor DEUTZ

Tato práce je věnována přestavbě traktorového motoru, proto jako první příklad uvedu traktor DEUTZ přestavěný firmou Europecon s.r.o.

Jedná se o dvoupalivový systém se zapojením dle obr. 14. Byl použit pouze elektrický ohřev paliva a hlavního filtru. Zatížení motoru není nijak sledováno, pouze při zatažené ruční brzdě přepne řídící jednotka automaticky na naftu.



Obr. 19 Traktor DEUTZ



Obr. 20 Ohřev paliva



Obr. 21 Palivové filtry



Obr. 22 Vestavba



Obr. 23 Umístění přídavné palivové nádrže

### 3.2.2 Kamion IVECO STRALIS

Přestavba tohoto kamionu je opět dílem společnosti Europecon. Znovu se jedná o dvoupalivový systém obdobný jako u traktoru DEUTZ (předchozí kapitola), jen v preciznějším provedení. Například hlavní palivový filtr je opatřen hlavou, která je vyhřívána chladicí kapalinou.





Obr. 24 kamion IVECO STRALIS



Obr 25 motor kamionu IVECO STRALIS



Obr. 26 Komponenty přestavby

### 3.2.3 Osobní automobil Nissan Primera WP11-120

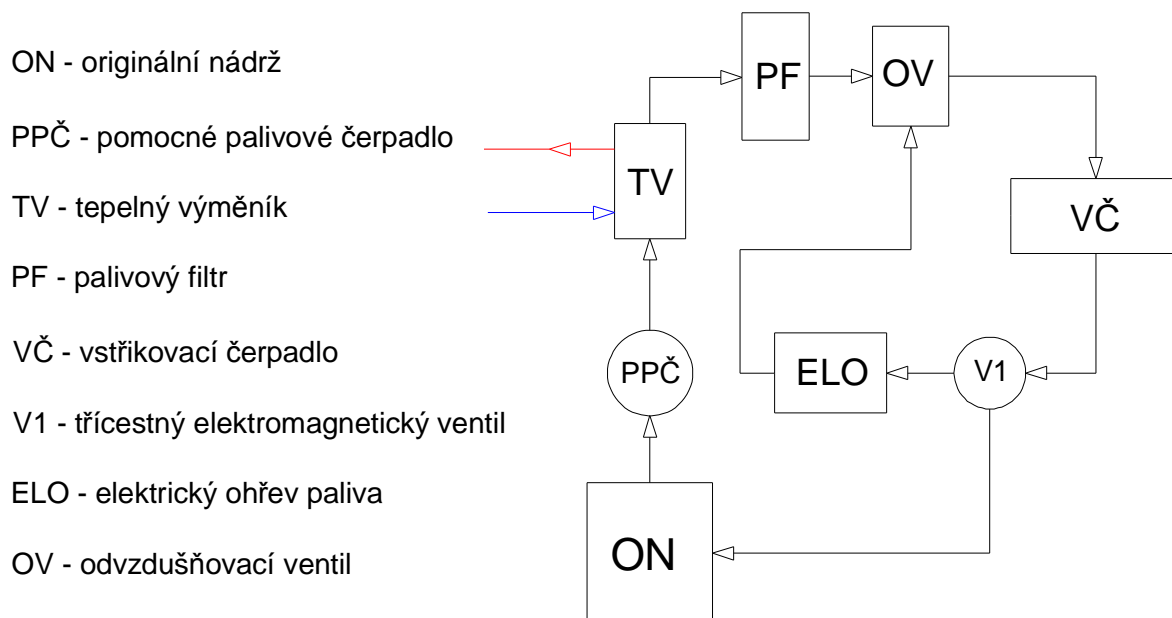
Tato přestavba je důkazem, že i osobní automobil se dá přestavět jako jednopalivový systém. Tato konkrétní přestavba nebyla provedena žádnou specializovanou firmou, jen v „garážových“ podmínkách majitelem automobilu, to však neznamená, že by neměla svoji kvalitu, spíše naopak.

Úprava je relativně jednoduchá s minimem přidaných součástek palivového systému (viz. obr. 28).

Při takovémto provedení se však příliš nedoporučuje jezdit přímo na čistý rostlinný olej. Vždy se doporučuje smíchání v určitém poměru s motorovou naftou, přičemž poměr závisí především na klimatických podmínkách.



Obr. 27 NISSAN Primera WP11-120



Obr. 28 Schéma přestavby osobního automobilu NISSAN Primera





Obr. 29 Odvzdušňovací ventil



Obr. 30 Ohřev paliva



Obr. 31 Zástavba v motorovém prostoru NISSANU Primera

## 4.0 Přestavba traktorového motoru ZETOR

Jedním z hlavních úkolů této práce je zpracovat projekt převedení traktorového motoru na funkční vzorek motoru spalujícího řepkový olej. Daným motorem je vznětový, řadový, stojatý, čtyřdobý, kapalinou chlazený ZETOR Z1504 s rozvodem OHV a s přímým vstřikem paliva (technické parametry viz. tab. 5).

Tab. 5 základní údaje traktorového motoru ZETOR Z1504 (EKO 2) [<sup>13</sup>]

Počet válců	4
Vrtání x zdvih [mm]	105x120
Objem válců [cm <sup>3</sup> ]	4156
Způsob plnění válců	přeplňovaný + mezichlazení
Jmenovitý výkon [kW]	90
Jmenovité otáčky [1/min]	2200
Převýšení kr. mom.[%]	35
Jmen.spotřeba [g/cm <sup>3</sup> ]	256
Náplň oleje [dm <sup>3</sup> ]	11
Hmotnost [kg]	465
Délka [mm]	971
Šířka [mm]	732
Výška [mm]	846

Motor bude přestaven jako na dvoupalivový provoz. Původní palivová soustava bude zachována a rostlinný olej bude přiváděn z přídavné palivové nádrže. Ostatní součásti palivového systému bude instalovány do kompaktního bloku. V laboratoři TUL je k dispozici pouze motor, tudíž zde nemůžeme řešit kompletní zástavbu do traktoru.

### 4.1 Schéma zapojení a jednotlivé komponenty

Prvním úkolem je výběr konkrétních součástek a určení schématu jejich vzájemného zapojení. Výběr součástek se opíral především o zkušenosti z již známých přestaveb traktorových motorů. Zapojení je navrženo tak, aby byl palivový systém jednoduchý a zároveň funkční (viz. obr 32). Použité součástky byly vybrány z e-Shopu společnosti Europecon:

- pomocný palivový filtr s univerzální hlavou PI-8603  
průměr: 85 mm, výška: 130 mm,  
připojení: M16,  
optimální filtrační plocha vhodná i pro viskóznější paliva,
- pomocné palivové čerpadlo - Facet 40107 (obr. 09)  
délka: 72 mm, šířka: 50 mm, výška: 60 mm,  
dodávka 128 l/hod, tlak max. 0,48 bar,  
samonasávací výtlač do výšky 0,3 m,  
provozní teploty od -31 do +55 °C ,  
oficiálně povolená média: bezolovnatý benzín a nafta,

- hlavní filtr rostlinného oleje  
výrobce: ALCO typ: SP-860 (fuel filter),  
průměr: 90 mm, výška: 210 mm,  
připojení: M16,
- jednotka pro kombinovaný ohřev paliva (obr. 12),  
délka: 80 mm, šířka: 80 mm, výška: 60 mm,  
schopnost ohřátí paliva na 72 °C za necelých 25 sekund,  
zabezpečení termospínačem proti přehřátí či zkratu,  
připojení přes 12V/ 40A relé,
- 3 x elektromagnetický 3/2 - cestný ventil (obr. 10),  
výrobce: PEVEKOIL typ: EVPT 5113.32 ,  
délka: 97 mm, šířka: 53 mm, výška: 112 mm  
jmenovitá světlost 13mm připojení: G 3/8,  
napájení 12V max. tlak 25 bar,
- automatický odvzdušňovací ventil (obr. 17)  
délka: 10 mm, šířka: 100 mm, výška: 150 mm  
max. průtok přívodu (u nafty) cca.100 l/hod  
max. průtok zpátečky (u nafty) cca. 100 l/hod  
odvzdušňovací výkon: cca. 5 l/hod

NRO - nádrž rostlinného oleje

NNA - naftová nádrž

PPF - pomocný palivový filtr

PPČ - pomocné palivové čerpadlo

FRO - filtr rostlinného oleje

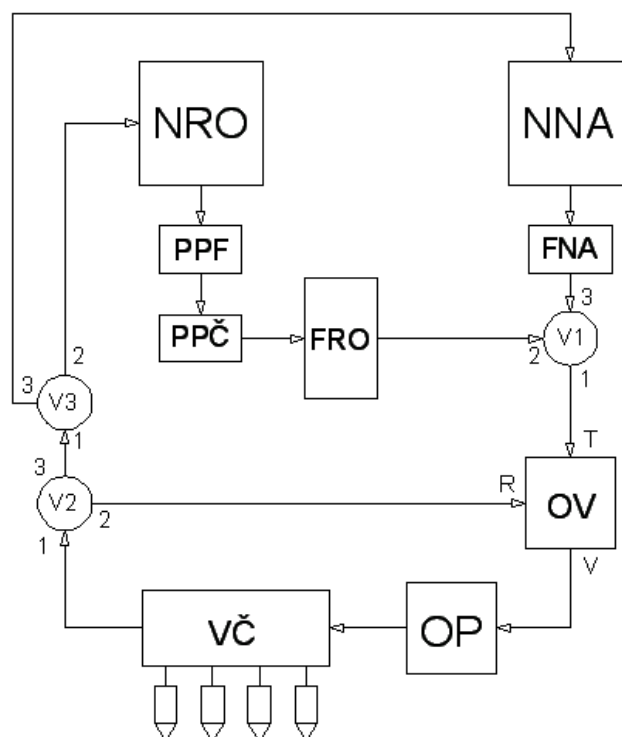
FNA - filtr nafty

OV - odvzdušňovací ventil

OP - ohřev paliva

VČ - vstřikovací čerpadlo

V1, V2, V3 - řídicí ventily



Obr. 32 Schéma zapojení součástek v kompaktním bloku

Z důvodů umístění ohřívače paliva až těsně před vstřikovacím čerpadlem je nutné zajistit ohřátí rostlinného oleje ještě dříve, než vstoupí do palivového filtru. V ideálním případě by se mohla vyhřívat celá palivová nádrž, což se v laboratorních podmínkách dá zajistit. V případě, převedení tohoto zapojení do praxe by byla nutné použít speciální vyhřívanou palivovou nádrž, která se na trhu dá koupit (viz. 3.1.1.1). Pokud by vyhřívaná nádrž nebyla k dispozici musel by se vyhřívat alespoň jeden z filtrů, pomocí speciální vyhřívané hlavy. Zde však počítáme s vyhřívanou palivovou nádrží.

#### 4.1 Kompaktní blok pro traktorový motor ZETOR

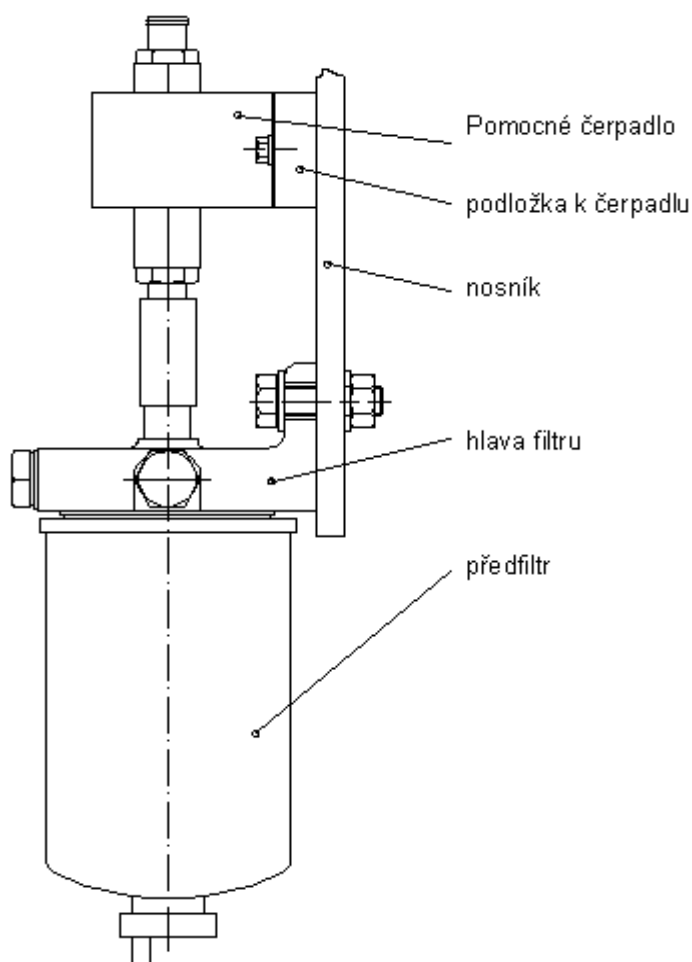
Výhodou bloku by mělo být především to, že by všechny součástky byly snadno dostupné a pohromadě. To usnadňuje montáž případně demontáž. Mezi další výhody by patřily i snadnější ohřev paliva, z důvodu krátkých dopravních vzdáleností, a uložení součástek blízko u sebe.

Nevýhodou může být skutečnost, že v motorovém prostoru představovaného stroje nemusí být vždy dostatek místa či příznivé rozmístění původních dílů. Další nevýhodou je zvýšení nákladů na přestavbu.

Jednoduchá ukázka, jak by takovéto zařízení mohlo vypadat, je v kapitole 3.3.2 „Kamion IVECO STRALIS“ (obr. 29). Všechno je zde uloženo v samostatné skříni mimo motor. Ovšem takovéto řešení se nabízí právě jen u velkých dopravních prostředků, zemědělských a pracovních strojů apod.

Náš blok je velice jednoduchý, jeho základ tvoří velká deska s předvrtanými otvory, ke které se vše ostatní přišroubuje. Pomocný předfiltr je opatřen univerzální hlavou. Přímo nad výstupem z předfiltru (v jeho ose) je umístěno pomocné čerpadlo (viz obr. 33).

Pro hlavní filtr je třeba hlavu vyrobit. Všechny tři elektromagnetické ventily jsou montovány do držáku umístěného hned nad hlavním filtrem (viz obr. 34). Kombinovaný ohřívač paliva je na takovém místě kde je nejkratší cesta k třicestným ventilům a zároveň

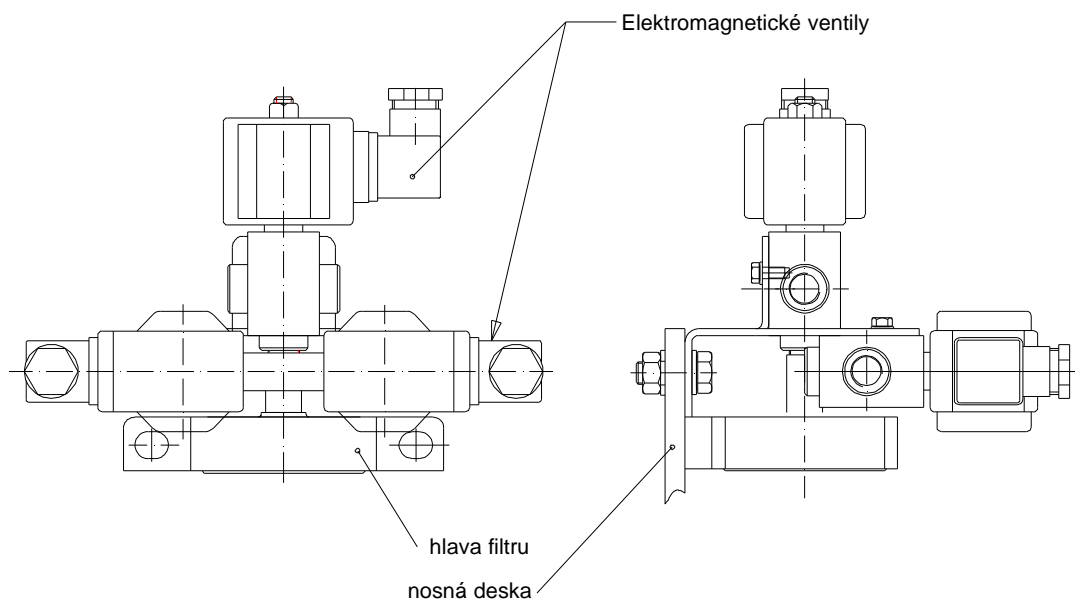


Obr. 33 Zapojení předfiltru a pomocného čerpadla

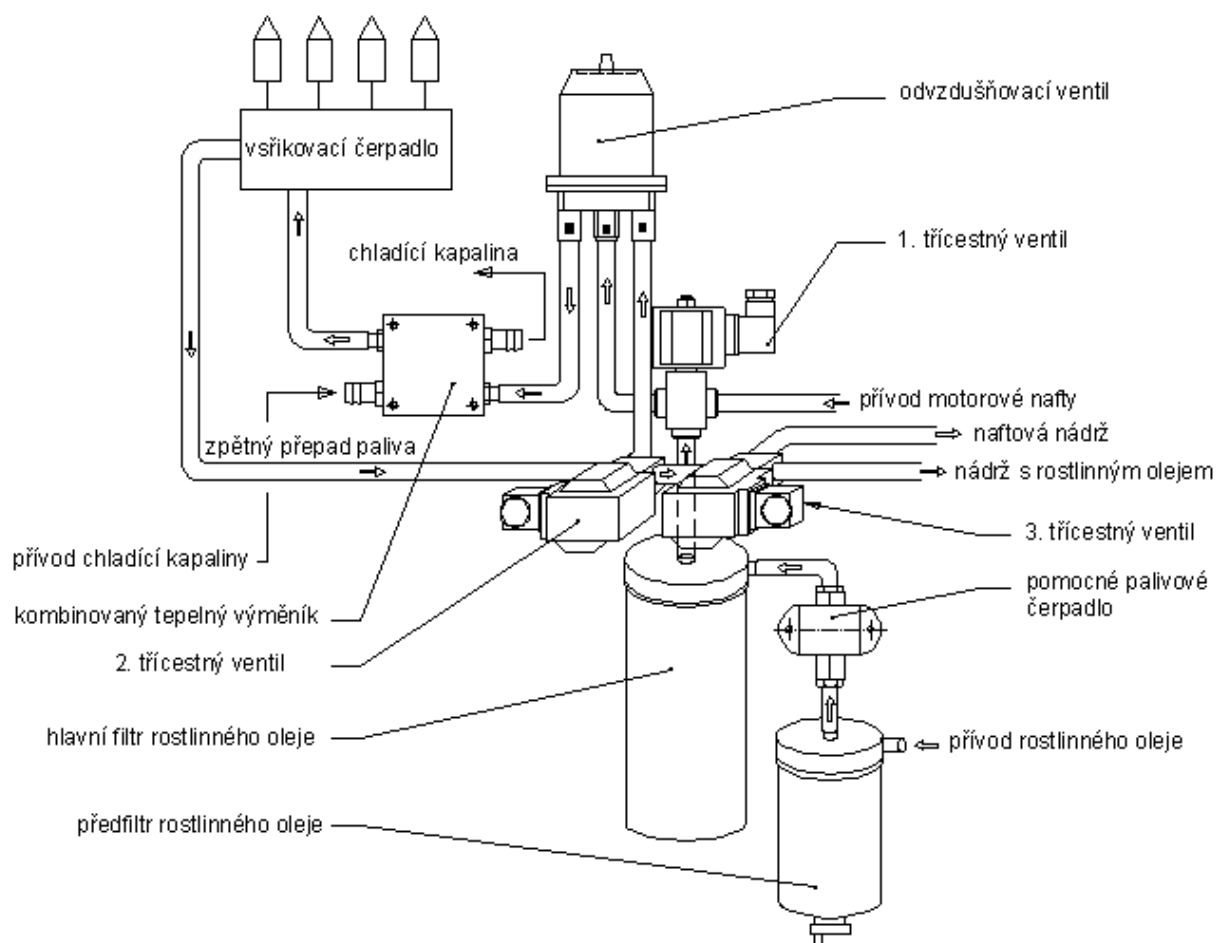
k odvzdušňovacímu ventilu, který je poněkud mimo, protože musí být umístěn nejvýše v celé soustavě, kvůli tlaku. Přívod a rozvod paliva je realizován pomocí plastových hadiček.

Přesnější rozmístění je zřejmé z obrázku 35, popřípadě z výkresové dokumentace.

Blok v této podobě je spíše vhodný jen pro umístění a používání v laboratoři. Ovšem po určitých úpravách by šla instalovat i na příslušný traktor.



Obr. 34 Uložení elektromagnetických ventilů



Obr. 35 rozmístění součástek v kompaktním bloku

## 5.0 Provozní parametry motoru ZETOR Z1504 na řepkový olej

Bez experimentálního ověření lze změnu provozních parametrů motoru po přechodu z nafty na řepkový olej stanovit pouze odhadem, který bude proveden za předpokladu, že vstřikované objemové dávky obou paliv jsou shodné.

Jmenovitý výkon motoru bude po přechodu z nafty na řepkový olej za předpokladu přibližně stejných celkových účinností motoru a objemových dávek paliva při provozu na naftu a na řepkový olej úměrný množství energie dodané v palivu do válce motoru. Počítá se s energií obsaženou ve stejných objemech (1 litr) nafty a řepkového oleje při teplotách 15 °C a 70 °C. Výsledky výpočtu uvedené v tabulce 6 ukazují, že jmenovitý výkon motoru bude při provozu na řepkový olej nižší, než při provozu na naftu.

Tabulka 6 Výhřevnosti nafty a řepkového oleje při teplotách 15 °C a 70 °C

Palivo	Výhřevnost [MJ/kg]	Hustota [kg/l]	Výhřevnost [MJ/l]	Výhřevnost [%]
Nafta při 15 °C	42,5	0,83	35,27	100
Nafta při 70 °C	42,5	0,79	33,57	95,2
Řep. olej při 15 °C	36	0,915	32,94	93,3
Řep. olej při 70 °C	36	0,877	31,57	89,5

Přechodem z nafty na řepkový olej dojde ke snížení energie obsahu v jednom litru palivu dodaném při teplotě 70 °C do válců motoru z 33,57 MJ na 31,57 MJ. Tento pokles sníží jmenovitý výkon motoru minimálně o 6 %.

Změny škodlivých výfukových emisí traktorového motoru ZETOR po přechodu z provozu na naftu na řepkový olej budou záviset mj. na seřízení palivového systému motoru (např. vstřikovací tlaky nebo časový průběh vstřiku paliva) a byly odhadnuty podle výsledků měření emisí publikovaných ve [2] a [14]. Při provozu na řepkový olej lze očekávat emise CO přibližně stejné jako při provozu na naftu, emise HC a částic nižší a emise NOx vyšší, než při provozu na naftu.

## 6.0 Závěr

Úkolem práce bylo shrnout podmínky a možnosti použití rostlinných olejů jako paliv pro vznětové motory. Potvrdilo se, že využití rostlinného oleje jako náhrady za fosilní paliva je za určitých podmínek možné a v některých případech výhodné z hlediska ekonomického i ekologického. Jak ostatně dokazují uvedené příklady přestavěných vozidel.

Přesto je však příliš mnoho překážek, které spalování rostlinných olejů v současných vznětových motorech velice znesnadňují. Těmito překážkami mám na mysli především vysokou viskozitu, vysokou teplotu vznícení a nízkou kvalitu. Proto si myslím, že v nejbližší budoucnosti nemá surový rostlinný olej příliš velkou šanci nahradit naftu, popřípadě dnes stále více využívanou bionaftu.

Pro projekt převedení traktorového motoru na funkční vzorek motoru spalujícího řepkový olej, bylo navrženo palivové příslušenství, kompaktní blok do kterého se příslušenství montuje a také byla vyhotovena výkresová dokumentace tohoto bloku.

Konstrukce kompaktního bloku palivového příslušenství pro snadnou montáž potřebných součástí je řešením, které má ovšem své opodstatnění jen v některých konkrétních případech, především u větších dopravních prostředků nebo zemědělských strojů. Jedním z mnoha předpokladů předcházejícím vývoj takového bloku je jistě pečlivé odzkoušení navrženého systému. V případě, že by se vyřešily všechny problémy, mohly by se takovéto bloky vyrábět sériově.

Tato práce neřeší kompletně celou problematiku přestaveb vznětových motorů pro provoz na rostlinný olej. Rozsah práce nedovolil širší popis elektrického řídicího systému.

## 7.0 Použitá literatura a odkazy

- [1] Glatz, A.: *Využití rostlinného oleje v praxi jako paliva, možnosti a zkušenosti* (EUROPECON, s.r.o.)  
dostupné na <http://www.rostlinnyolej.cz>
- [2] Laurin, J. – Holubec, R.: Motorová paliva z rostlinných olejů. In: 8. vědecká mezinárodní konference „Přírodní zdroje, doprava, energetika a udržitelný hospodářský růst“. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Praha, 2008.
- [3] Souček, J.: Výroba a užití kapalných biopaliv. Praha, březen 2006. dostupné na [http://www.scienceshop.cz/attachments/HOL-Texty\\_biopal.doc](http://www.scienceshop.cz/attachments/HOL-Texty_biopal.doc)
- [4] Beroun, S. - Scholz, C.: *ANALÝZA PROBLEMATIKY SPALOVÁNÍ SUROVÝCH ROSTLINNÝCH OLEJŮ VE VZNĚTOVÉM SPALOVACÍM MOTORU*.  
Výzkumná zpráva SM 504/2004. KSD TUL Liberec 2004
- [5] A. Ammerer, A. - Rathbauer, J. - Wörgetter, M.: *RAPSEED OIL AS FUEL FOR FARM TRACTORS*. In: IEA Bioenergi Task 39, Subtask „Biodiesel“.  
Dostupné na: [http://www.senternovem.nl/mmfiles/135533\\_tcm24-124336.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/135533_tcm24-124336.pdf)

### Internet:

- [6] <http://www.rostlinnyolej.cz/> (EUROPECON, s.r.o Praha)
- [7] <http://www.rasol.sk/> (RASOL ®)
- [8] <http://www.bioauto.sk/>
- [9] <http://www.biodiesel.cz/mero/>
- [10] <http://vegburner.co.uk/oils.htm> (druhy rostlinných olejů a tuků)
- [11] <http://www.poelheizer.de/> (příklady přestavěných osobních automobilů)
- [12] <http://www.21stoleti.cz/view.php?cisloclanku=2005050612>
- [13] <http://www.zetorengines.cz/> (motory ZETOR)
- [14] [http:// www.biokraftstoff-portal.de](http://www.biokraftstoff-portal.de)